

بررسی اثر هم‌جواری فونداسیون‌ها بر تحریک ورودی: مطالعه موردی دو فونداسیون نواری مدفون با مقطع مستطیل

علی اسماعیل پور

کارشناس ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
a.esmaeilpour@iiees.ac.ir

حسین جهان خواه

استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
h.jahankhah@iiees.ac.ir

کلیدواژه‌ها: اندرکنش سینماتیک، مجاورت فونداسیون‌های نواری، تحریک ورودی

چکیده

اندرکنش خاک و سازه را می‌توان در دو بخش سینماتیک و اینرشال تقسیم‌بندی نمود. اندرکنش سینماتیک بر تحریک ورودی و اندرکنش اینرشال بر مشخصات دینامیکی سیستم اثر می‌گذارد. در ادبیات فنی موجود درزمینه اندرکنش سیستم خاک و سازه، اغلب سازه واقع بر محیط نیمه‌بی‌نهایت، بدون اثرگذاری بر سازه‌های اطراف و همچنین اثرپذیری از آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. به عبارت دیگر سازه مجزا از سازه‌های اطراف آن دیده شده است. در صورتی که اغلب سازه‌های موجود در محیط شهری توسط چندین سازه دیگر که می‌تواند هم‌اندازه با آن و یا در اندازه‌های متفاوت باشند، احاطه شده‌اند. با توجه به این موارد، در این پژوهش تأثیر دو فونداسیون نواری واقع بر محیط الاستیک هموزن بر تحریک ورودی به آن‌ها، با استفاده از تحلیل دوبعدی در نرم‌افزار اجزاءمحدود آباکوس دیده شده است. نتایج حاکی از آن است که مجاورت فونداسیون‌ها می‌تواند منجر به تغییر قابل ملاحظه در تحریک ورودی آن‌ها شود. همچنین نشان داده شده است تغییر می‌تواند در جهت کاهش یا افزایش دامنه تحریک ورودی باشد.

مقدمه

در برآورد پاسخ لرزه‌ای سیستم خاک - سازه؛ دو عامل تحریک ورودی و مشخصات دینامیکی سیستم، نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. به طوری که اندرکنش سینماتیک و اینرشال به ترتیب بر تحریک ورودی و مشخصات دینامیکی سیستم خاک - سازه اثرگذار هستند. بدین ترتیب می‌توان گفت اندرکنش سینماتیکی خاک - سازه یکی از پدیده‌های مهم و اثرگذار بر تحریک ورودی است. این پدیده، محتوای فرکانسی و نوع مؤلفه‌های ورودی را تحت تأثیر قرار داده و به دنبال آن، تغییراتی در پاسخ فونداسیون و سازه به وجود می‌آورد. (Wolf (1985 با ارائه‌ی روابط در سیستم المان محدود و با در نظر گرفتن رفتار خطی خاک، اندرکنش سینماتیک و اینرشال را از هم تفکیک نمود. در سال‌های اخیر با توجه به رشد انبوه ساختمان‌ها و کاهش فضای مناسب احداث سازه‌های جدید در محیط شهری، سازه‌ها با تراکم زیاد، اغلب در مجاورت هم و یا بافاصله‌ی کم از هم ساخته می‌شوند؛ بنابراین در زمان وقوع زلزله، سازه‌ها با توجه به بعد و عمق مدفونی فونداسیون‌ها و متناسب با ارتفاعی که دارند، به طرق مختلف بر هم تأثیر می‌گذارند. از جمله مهم‌ترین این اثرات، اثر اندرکنش متقابل سیستم سازه - خاک - سازه است. این اثرگذاری در بخش‌های مذکور، یعنی اندرکنش سینماتیکی و اندرکنش اینرشال قابل بررسی است. حرکت ورودی فونداسیون که همان پاسخ فونداسیون تحت موج لرزه‌ای انتشار یابنده به سطح زمین، بدون بارگذاری خارجی است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. (Yamahara (1970 این پدیده را با مشاهده‌ی اختلاف دامنه و فاز حرکت میدان آزاد زمین و حرکت ورودی مؤثر سازه در فرکانس‌های بالا دریافت و آن را اثر فیلترینگ نامید. تحقیقات تحلیلی، تقریبی و آزمایشگاهی بسیاری توسط Scanlan (1976)، Ray and Jhaveri (1978) و Hoshiy and Ishii (1983)، برای محاسبه‌ی اثر فیلترینگ و موج برگشتی ارائه شده است. این تحقیقات نشان می‌دهند که تابع محاسبه‌ی حرکت ورودی فونداسیون، متأثر از هندسه و نوع فونداسیون (سطحی یا مدفون)؛ نوع موج محرک و زاویه‌ی برخورد آن به فونداسیون است. (Lee and Wesley (1983 اندرکنش سازه‌های هم‌جوار را، متأثر از چهار پارامتر سرعت

موج برشی خاک، لختی سازه‌ها، فرکانس طبیعی سازه‌ها و فاصله‌ی میان سازه‌ها می‌دانند. این نتیجه بامطالعه‌ی گروهی از سازه‌های انعطاف‌پذیر که بر فونداسیون استوانه‌ای صلب سطحی بنا شده و بر محیط خاکی نیمه بی‌نهایت قرار گرفته‌اند؛ به دست آمده است. در ادامه، با استفاده از روش پیشنهادی این نتیجه حاصل شده که مجاورت سازه‌ها، موجب کاهش دامنه‌ی پاسخ در فرکانس تشدید شده است. این تأثیر؛ در سازه‌های مدفون در سنگ‌های سخت بیشتر پیش‌بینی شده است. در تحقیق مذکور بیشتر اثرات اندرکنش اینرشال مدنظر قرار گرفته است. (Pais (1988) از جمله نخستین افرادی است که تأثیر سازه‌های مجاور، شامل سازه‌های مدفونی چون تونل‌های مترو و هم‌چنین فونداسیون‌های سطحی را بر اندرکنش سیستم خاک - سازه بررسی کرده است. در نتایج ارائه شده، کاهش در میزان تابع تبدیل جابه‌جایی افقی (درون صفحه) و افزایش در تابع تبدیل دوران حول محور قائم بر صفحه در مقابل افزایش فرکانس بی‌بعد مشاهده شده است. (Kitada et al., 1999 - 2004) با هدف اطمینان از کفایت آیین-نامه‌ای طراحی سازه‌های امن هسته‌ای، مجموعه‌ی کاملی از آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام دادند. در نهایت با تأیید نتایج مطالعات قبلی؛ تأثیر نحوه جای‌گیری سازه و جهت برخورد امواج به سازه‌ها را بررسی کردند. مجموعه‌ی این آزمایش‌ها به این نتیجه انجامید که دامنه‌ی پاسخ در فرکانس طبیعی سیستم خاک - سازه و فرکانس تشدید، زمانی که سازه‌ها به صورت موازی یا سری نسبت جهت گسترش میدان موج قرار گرفته‌اند، در مقایسه با زمانی که سازه‌ی هم‌جوار ساخته نشده باشد به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. (Mason et al., 2013) با در نظر گرفتن تأثیر سازه‌های مجاور، اثر آن را بر کاهش تحریک ورودی ناشی از اندرکنش سینماتیکی به سیستم خاک - سازه مفید دانسته‌اند. آن‌ها هم‌چنین بیان کرده‌اند که در نظر گرفتن فونداسیون‌های مجاور، سبب کاهش جابه‌جایی بام نسبت به حالت فونداسیون سطحی منفرد می‌شود. از آنجاکه در اکثر مطالعات گذشته در زمینه‌ی بررسی مجاورت فونداسیون‌ها، اثرات اندرکنش سینماتیکی و اینرشال باهم بررسی شده‌اند، در این مطالعه به منظور دستیابی به تأثیر اندرکنش سینماتیکی، فونداسیون‌ها بدون جرم در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به ضرورت بررسی تأثیر اندرکنش متقابل دینامیکی^۱ سازه‌ها بر پاسخ یکدیگر از طریق خاک، سعی بر آن است اثر هم‌جواری زمانی ارزیابی شود که دو فونداسیون نواری با عمق‌های دفن متفاوت، در فواصل مختلفی نسبت به یکدیگر قرار گرفته باشند. تحت این شرایط اثر هم‌جواری فونداسیون‌های مدفون بر تحریک‌های ورودی افقی و چرخشی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور ابتدا مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس صورت گرفته، سپس صحت مدل تحقیق شده و در ادامه اثر مجاورت فونداسیون‌ها بر اندرکنش سینماتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مدل‌سازی

برای مدل‌سازی سیستم، از روش مدل‌سازی مستقیم در نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده شده است. در این روش، امکان محاسبه‌ی پاسخ حالات مختلف اثر مجاورت سازه‌ها بر اندرکنش سینماتیکی سیستم خاک - سازه - خاک وجود دارد. چگالی محیط خاکی در این مدل‌سازی 1650 kg/m^3 و ضریب پواسون آن $0/3$ است. در جدول ۱ مشخصات هندسی مدل‌های مورد مطالعه در این تحقیق ارائه شده است. نمایش پارامترهای هندسی سیستم به صورت بی‌بعد موجب می‌شود نتایج حاصل از تحلیل‌ها به جای یک سیستم خاص، نماینده یک کلاس از سیستم‌های فونداسیون مجاور نواری باشند. از این رو پارامتر فرکانس بی‌بعد که در رابطه ۱ آمده، جهت نمایش نتایج حاصل از تحلیل استفاده شده است.

$$a_0 = \frac{\dot{S}B}{V_s} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، B و V_s به ترتیب فرکانس دورانی تحریک، بعد فونداسیون (نصف عرض آن) و سرعت موج برشی محیط خاکی هستند. برای مواردی که چندین فونداسیون با ابعاد مختلف مدنظر باشد، بعد فونداسیون استفاده شده در پارامتر فرکانس بی‌بعد نصف عرض بزرگ‌ترین آن‌ها است.

به منظور جذب امواج برگشتی از سوی فونداسیون‌ها در این پژوهش از مرزهای جاذب ویسکوز و ویسکو الاستیک به ترتیب برای مرزهای جانبی و پایینی مدل، با پارامترهای ارائه شده در (Lysmer and Kuhlemeyer (1969) و (Liu et al., 2010) استفاده شده است. با توجه به شکل ۱ المان‌های ویسکوز مرزهای جانبی و المان‌های ویسکو الاستیک مرز پایینی در دو جهت مماسی و عمود بر مرز مدل، به ترتیب به عنوان جاذب امواج برگشتی برشی و محوری عمل می‌کنند.

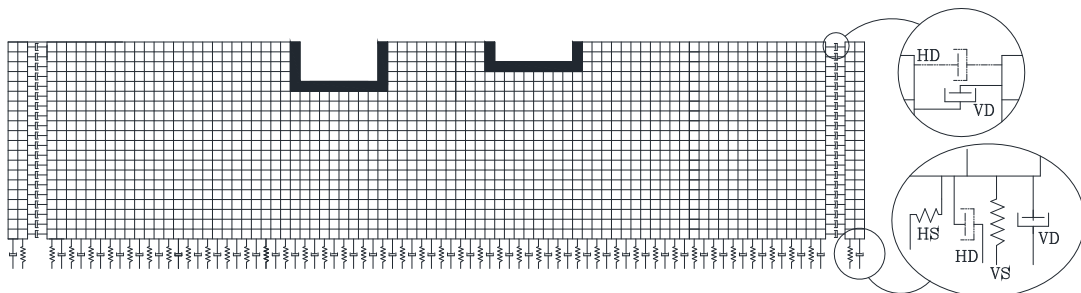
مشخصات مدل ساخته شده

در شکل ۲ نمایشی شماتیک از مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار آمده است. مدل فونداسیون منفرد (شکل ۲-الف) برای بررسی صحت مدل-سازی و مدل فونداسیون‌های مجاور (شکل ۲-ب) جهت تعیین اثر هم‌جواری فونداسیون‌ها آمده است. در شکل ۱، VD و HD به ترتیب نشان‌دهنده‌ی میراگرهای جاذب امواج محوری و برشی می‌باشند. در مرز پایین علاوه بر میراگرهای VS و HS تعبیه شده‌اند. این فنرها موجب حذف جابجایی ماندگار ناخواسته در سیستم می‌شوند. لازم به ذکر است که سرعت موج برشی، یکی از

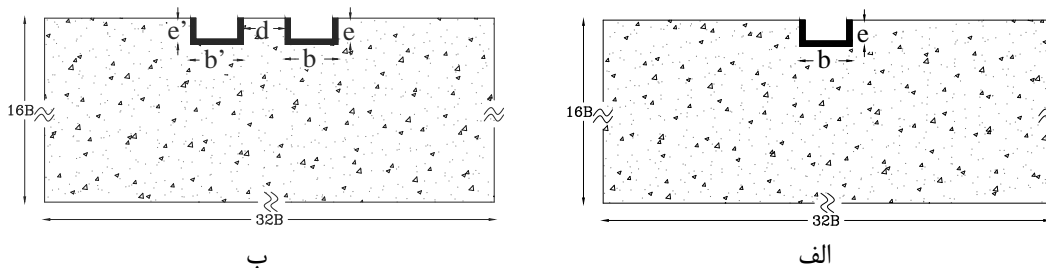
مهم‌ترین پارامترهای مطالعات اندرکنش سیستم خاک - سازه به شمار می‌رود که این پارامتر در فرکانس بی‌بعد تحریک دیده شده است. به‌منظور بررسی تأثیر فاصله‌ی نسبی بین فونداسیون‌ها، از فواصل نسبی d/B برابر با ۱، ۲، ۴ و ۶ استفاده شده است. پارامترهایی که در این پژوهش برای فونداسیون اصلی استفاده شده، عرض b/B و عمق نسبی e/B آن است که به ترتیب مقادیر ۲ و ۱ دارند. ضمناً فونداسیون مجاور مقادیر عرض نسبی b'/B برابر ۱ و ۲ و همچنین عمق نسبی e'/B ، ۰، ۱ و ۲ دارد.

جدول ۱: مشخصات مدل خاک - فونداسیون

ابعاد مدل	نسبت عمق به بعد فونداسیون		نسبت فاصله‌ی نسبی به بعد فونداسیون (d/B)	عرض فونداسیون		فرکانس بی‌بعد (a_0)
	اصلی (e/B)	مجاور (e'/B)		اصلی (b/B)	مجاور (b'/B)	
32B×16B	1	0, 1, 2	1, 2, 4, 6	2	1,2	0.00~4.50



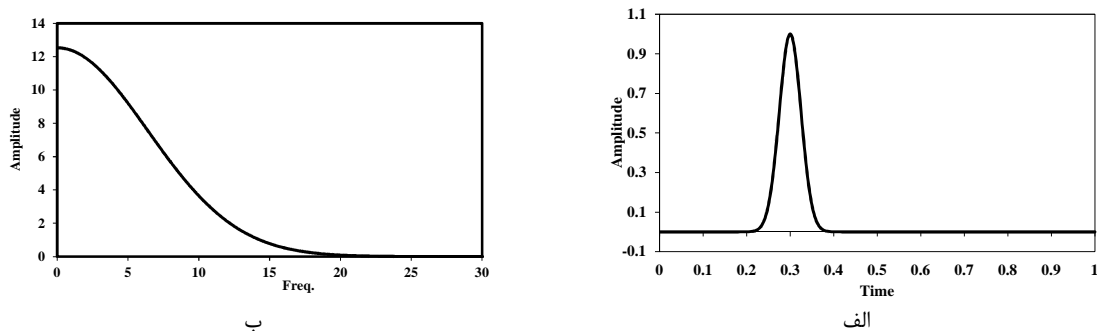
شکل ۱: نمایی شماتیک از مدل استفاده شده در پژوهش



شکل ۲: (الف) مدل خاک و فونداسیون تنها (ب) مدل خاک و فونداسیون‌های مجاور

تحریک ورودی

نحوه اعمال تحریک ورودی یکی از مهم‌ترین فاکتورها در مدل‌های دینامیکی است. هدف اصلی در بررسی اندرکنش خاک-سازه بررسی سیستم تحت تحریک زلزله است. این تحریک می‌تواند به صورت‌های مختلف شتاب، سرعت، جابجایی و یا نیرو اعمال شود. تحریک استفاده شده در این پژوهش یک پالس با شکل تابع توزیع نرمال با جابجایی و سرعت صفر بوده که در شکل ۳- الف و ب به ترتیب فرم نمایش آن در حوزه زمان و حوزه فرکانس آمده است.

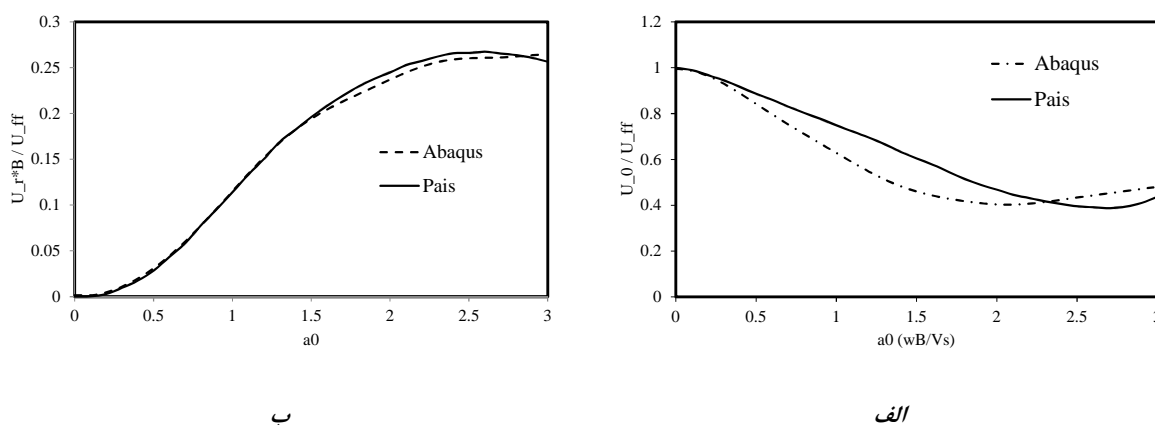


شکل ۳: تحریک‌های اعمال شده به مدل در (الف) حوزه زمان و (ب) حوزه فرکانس

در این بخش ابتدا صحت مدل ساخته شده در برآورد اندرکنش سینماتیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس از مدل مذکور جهت بررسی اثر اندرکنش سینماتیکی فونداسیون‌های مجاور استفاده خواهد شد.

صحت‌سنجی نتایج

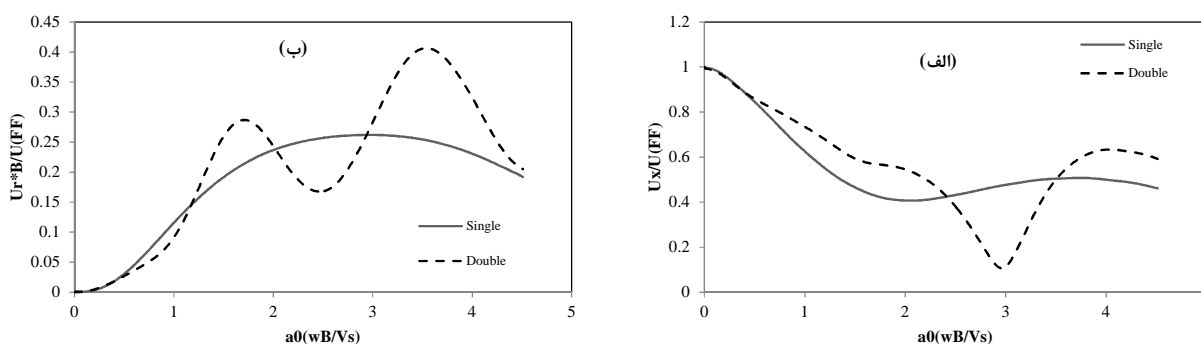
در شکل ۴-الف مقادیر نرمال شده پاسخ افقی پی به پاسخ میدان آزاد در مقابل فرکانس بی‌بعد نشان داده شده است. ضمناً در شکل ۴-ب مقادیر پاسخ‌های چرخشی استخراج شده در نرم‌افزار که در بعد پی (نصف عرض آن) ضرب شده و به پاسخ میدان آزاد زمین نرمال شده، آمده است که در کنار مقادیر مشابه ارائه شده در پژوهش Pais (1988) نشان داده شده است. با دقت در شکل ۴-الف و ۴-ب مشاهده می‌شود که مقادیر به دست آمده از تحلیل اجزای محدود در نرم‌افزار آباکوس، در مقایسه با نتایج ارائه شده در مرجع مذکور دقت مناسبی دارد. از نکات قابل توجه در اندرکنش سینماتیکی فونداسیون‌های مدفون، آن است که تحت اثر امواج SV با جهت انتشار قائم، فونداسیون دو حرکت افقی و دورانی را تجربه می‌نماید که در شکل‌های ۴-الف و ۴-ب نشان داده شده است. این در حالی است که برای فونداسیون سطحی، تنها حرکت افقی تحت میدان موج ورودی مشابه ثبت می‌شود و حرکت دورانی وجود نخواهد داشت. در ادامه بررسی خواهد شد که هم‌جواری فونداسیون‌های سطحی و مدفون، چگونه می‌تواند در حرکت ورودی فونداسیون سطحی تغییر ایجاد کند.



شکل ۴: مقایسه نتایج استخراج شده از آباکوس و ارائه شده در پژوهش پیس-الف جابجایی افقی ب-چرخش گهواره‌ای

تأثیر وجود فونداسیون مجاور

فونداسیون مدفون با توجه به عمق دفن آن، در صورت عدم حضور فونداسیون دیگر، پاس‌هایی مشابه با نمودارهای موجود در شکل ۴ دارد، اما با حضور فونداسیون مجاور این مقدار متفاوت با مقدار قبل می‌شود. این اثر برای دو فونداسیون هم‌اندازه و بافاصله نسبی 2B در شکل ۵ دیده می‌شود.

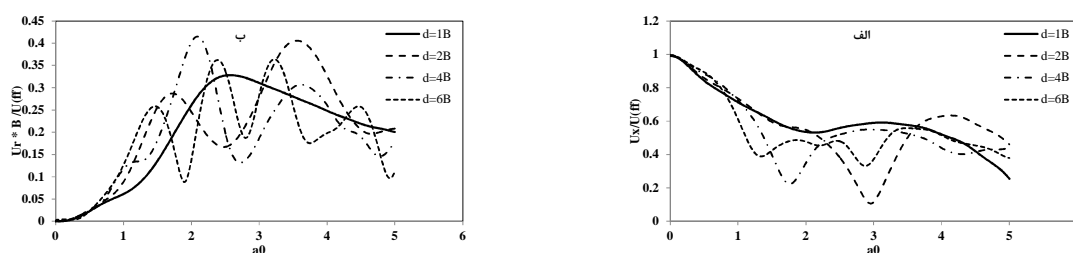


شکل ۵: مقایسه نتایج استخراج شده برای فونداسیون منفرد و فونداسیون‌های مجاور هم-الف جابجایی افقی ب-چرخش گهواره‌ای

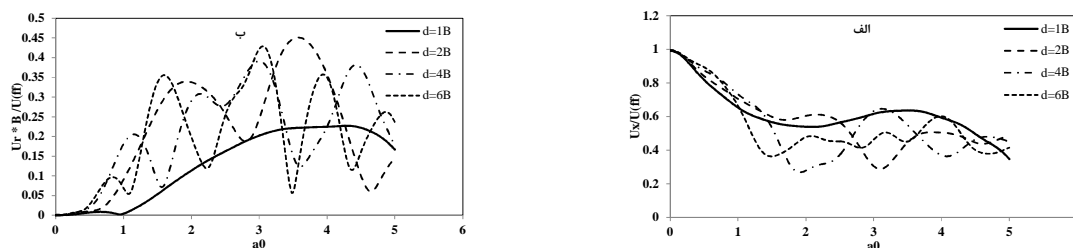
در شکل‌های ۵- الف و ۵- ب، به ترتیب پاسخ نرمال شده افقی و چرخشی فونداسیون برای دو حالت تک فونداسیون و دو فونداسیون در جوار هم آمده است. خطوط ممتد و منقطع به ترتیب نشان‌دهنده پاسخ فونداسیون تک و دو فونداسیون در کنار هم است. محورهای نمودارها مطابق با شکل‌های قبلی بوده است. مجاورت فونداسیون علاوه بر تغییر در دامنه پاسخ‌ها در برخی فرکانس‌ها موجب تشدید و یا کاهش شدید مقادیر شده است.

تأثیر فاصله نسبی بین فونداسیون‌ها

به منظور بررسی پاسخ فونداسیون‌های نواری مجاور هم یک فونداسیون نواری با عمق و فواصل نسبی بیان‌شده در جدول ۱، در مجاورت فونداسیون اصلی مدل شده و نتایج در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب برای فونداسیون مجاور با عرض نسبی b'/B و ۱ و ۲ نشان داده شده است. ضمناً فونداسیون مجاور عمق نسبی e'/B و ۱ و ۲ دارد که در شکل‌های مذکور مشخص شده است. نتایج به دست آمده از تحلیل عددی؛ بیانگر این موضوع است که علی‌رغم تصور اولیه، با کاهش فاصله دو فونداسیون، حرکت وارده به هر یک از آن‌ها لزوماً افزایش نمی‌یابد. شکل ۶- الف نسبت جابه‌جایی افقی فونداسیون‌ها در حالت مجاورت برای فواصل مختلف را نشان می‌دهد. در شکل ۶- ب محور قائم، نسبت نرمال‌شده دوران فونداسیون‌ها در نصف بعد فونداسیون به جابه‌جایی میدان آزاد محیط نشان داده شده است. محورهای افقی هر دو نمودار بر اساس فرکانس بی‌بعد تحریک مدرج شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۶- الف مشاهده می‌شود، در فرکانس‌های تحریک پایین، مجاورت تأثیر چندانی بر حرکت افقی فونداسیون اصلی ندارد. لیکن با افزایش فرکانس تحریک تا $a_0=2$ ، تغییرات حرکت افقی سازه، برای فواصل مجاورت B تا $6B$ تا ۲۰ درصد جابه‌جایی میدان آزاد تغییر می‌کند؛ بنابراین امکان کاهش حرکت میدان آزاد تا ۸۰ درصد وجود دارد. از طرفی در نمودار ۶- ب مشاهده می‌شود مجاورت به فونداسیون اصلی، تحریکی دورانی اعمال می‌نماید که افزایشی در حدود ۲۰ تا ۱۰۰ درصد پاسخ فونداسیون منفرد در آن ایجاد می‌کند. این اثر خصوصاً در مورد سازه‌های لاغر، ممکن است به افزایش قابل‌ملاحظه‌ی نیاز لرزه‌ای بیانجامد که در جهت عدم اطمینان است. همین روند برای فونداسیون سطحی با عرض $2B$ ، مطابق شکل ۷- الف و ۷- ب قابل‌ملاحظه است. لازم به ذکر است با کاهش بعد نسبی فونداسیون مجاور از ۲ به ۱ کاهش ملموسی از حرکت دورانی اعمال‌شده به فونداسیون اصلی دیده نمی‌شود. هرچند برای فاصله نسبی d/B برابر ۱ میان فونداسیون‌ها، تابع تبدیل حرکت دورانی تا حدودی کاهش یافته است.



شکل ۶: نتایج استخراج‌شده برای فونداسیون‌های مجاور هم (فونداسیون مجاور با ابعاد نسبی $b'/B=2$ و $e'/B=1$)
الف جابجایی افقی ب- چرخش گهواره‌ای

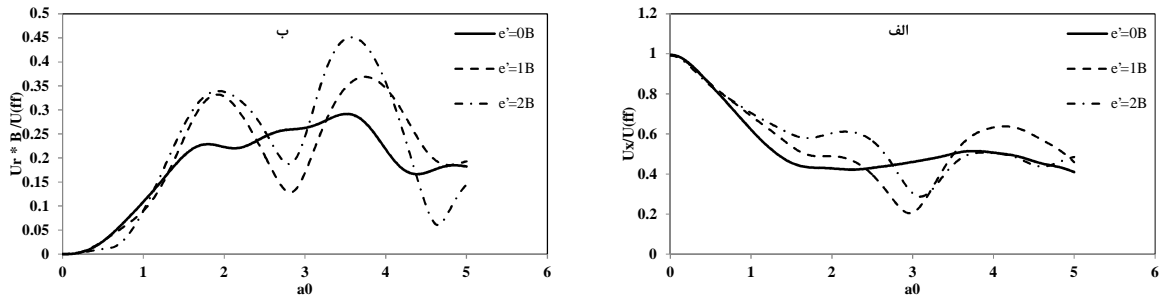


شکل ۷: نتایج استخراج‌شده برای فونداسیون‌های مجاور هم (فونداسیون مجاور با ابعاد نسبی $b'/B=1$ و $e'/B=2$)
الف جابجایی افقی ب- چرخش گهواره‌ای

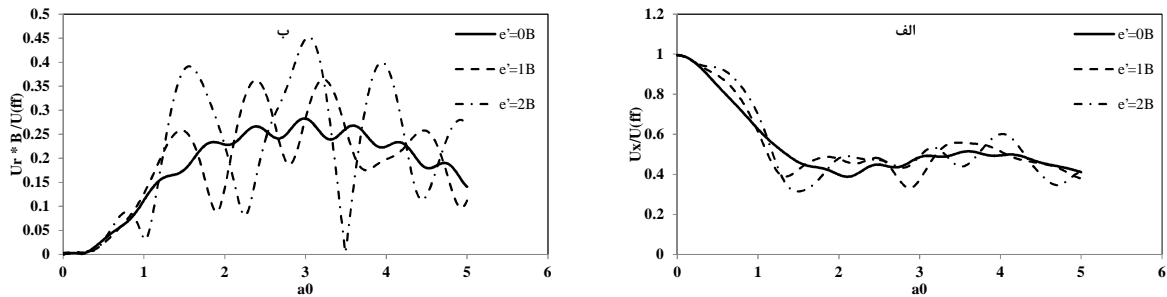
تأثیر عمق نسبی سازه مجاور

نظر به توضیحات ارائه‌شده در قسمت قبل، به منظور بررسی تأثیر بعد فونداسیون جدید، نتایج برای فاصله نسبی بین فونداسیون‌ها ۲ و ۶ برابر بعد فونداسیون اصلی، در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. در شکل‌های ۸ و ۹ فونداسیون مجاور به ترتیب عرض نسبی ۱ و ۲ برابر بعد فونداسیون اصلی دارند.





شکل ۸: نتایج استخراج شده برای فونداسیون‌های مجاور هم (فاصله نسبی فونداسیون‌ها d/B برابر با ۲ و عرض نسبی فونداسیون مجاور b'/B برابر (۱) - الف جابجایی افقی ب- چرخش گهواره‌ای

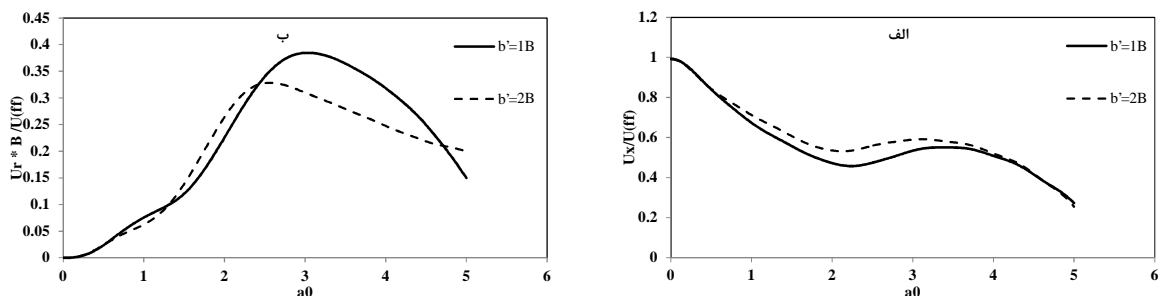


شکل ۹: نتایج استخراج شده برای فونداسیون‌های مجاور هم (فاصله نسبی فونداسیون‌ها d/B برابر با ۶ و عرض نسبی فونداسیون مجاور b'/B برابر (۱) - الف جابجایی افقی ب- چرخش گهواره‌ای

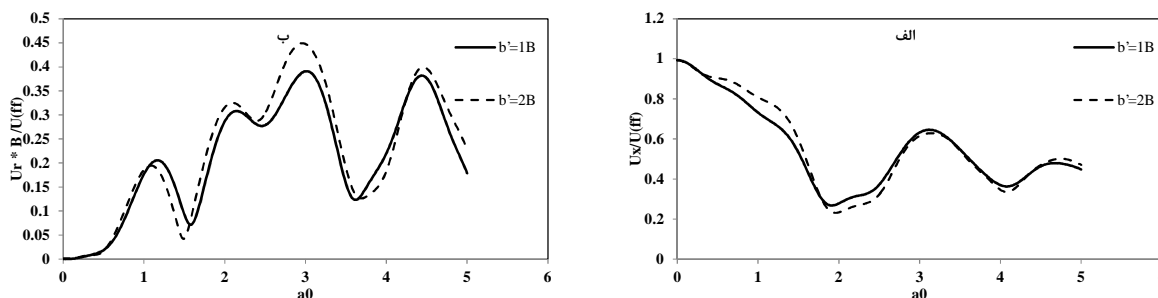
همان‌گونه که در شکل‌های ۸ و ۹ دیده می‌شود؛ با افزایش عمق نسبی فونداسیون مجاور اثرگذاری آن بر فونداسیون اصلی افزایش یافته است. با افزایش عمق فونداسیون مجاور پاسخ افقی و دورانی فونداسیون اصلی تا حدود ۵۰ درصد پاسخ فونداسیون منفرد تغییر می‌کند. این در حالیست که در برخی نواحی فرکانسی تغییرات حرکات افقی و دورانی هر دو به سمت افزایش است که در واقعیت می‌تواند منشا تحمیل حرکات تقویت شده به فونداسیون اصلی گردد.

تأثیر بعد نسبی سازه مجاور

به منظور بررسی بعد فونداسیون مجاور در پاسخ فونداسیون اصلی نتایج برای شرایطی که عمق فونداسیون‌ها برابر بوده و فاصله نسبی بین آن‌ها برابر با بعد فونداسیون اصلی در شکل ۱۰ و برای زمانی که عمق سازه مجاور و فاصله بین فونداسیون‌ها به ترتیب ۲ و ۴ برابر بعد فونداسیون اصلی باشد، در شکل ۱۱ آمده است.



شکل ۱۰: نتایج استخراج شده برای فونداسیون‌های مجاور هم (فاصله نسبی فونداسیون‌ها d/B برابر با ۱ و عرض نسبی فونداسیون مجاور b'/B برابر (۱)، الف- جابجایی افقی ب- چرخش گهواره‌ای



شکل ۱۱: نتایج استخراج شده برای فونداسیون‌های مجاور هم (فاصله نسبی فونداسیون‌ها d/B برابر با ۴ و عرض نسبی فونداسیون مجاور e'/B برابر ۲)، الف- جابجایی افقی ب- چرخش گهواره‌ای

با دقت در نتایج موجود در شکل‌های ۱۰-الف و ۱۱-الف تابع تبدیل پاسخ افقی با افزایش بعد فونداسیون مجاور علی‌رغم اینکه فرکانس‌های تشدید پاسخ ثابت مانده، به مقدار کمی افزایش یافته است. همچنین در شکل‌های ۱۰-ب و ۱۱-ب نیز همچنین نتیجه‌ای دیده می‌شود. با توجه به نتایج ارائه شده در بخش‌های فاصله و عمق نسبی تأثیر این بخش به نسبت کمتر است.

نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر، اثر مجاورت دو فونداسیون مدفون نواری، بر تحریک ورودی به یکی از فونداسیون‌ها که به‌عنوان فونداسیون اصلی نامیده شده، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا، فاصله‌ی فونداسیون‌های مدفون از هم و تغییرات عرض و بعد فونداسیون مجاور؛ به‌عنوان پارامترهایی در نظر گرفته شده‌اند که تغییرات آن‌ها، مبنای مقایسه و تفسیر نتایج حاصل از تحلیل‌های نرم‌افزاری است. نتایج تحلیل‌های عددی که با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس به دست آمده حاکی از آن است که علی‌رغم تصور اولیه، با کاهش فاصله دو فونداسیون، حرکت وارده به هر یک از آن‌ها لزوماً افزایش نمی‌یابد. ضمناً با احداث یک فونداسیون در مجاورت فونداسیون اصلی در برخی نواحی فرکانسی تغییرات حرکات افقی و دورانی هر دو به سمت افزایش است که در واقعیت می‌تواند منشأ تحمیل حرکات تقویت شده به فونداسیون اصلی گردد. نکته‌ی مهم دیگر آن که فونداسیون سطحی که در حالت منفرد تحت موج SV با جهت انتشار قائم، تنها حرکت افقی را تجربه می‌کند؛ در حالت مجاورت با فونداسیون مدفون، تحت حرکت چرخشی قابل ملاحظه‌ای قرار می‌گیرد که می‌تواند تحریک تقویت شده‌ای را به سازه‌ی بنا شده بر آن اعمال نماید.

مراجع

Abaqus 6.11. (2011) Standard user's manual, Rhode Island: Hibbit, Karlsson and Sorensen Inc

Hoshiya M and Ishii K (1983) Evaluation of kinematic interaction of soil-foundation systems by a stochastic model Proc. of the 1th International Conf. and Exhibition on Soft Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, UK

Kitada Y and Hirotsu T and Iguchi M (1999) Models Test on Dynamic Structure-Structure Interaction of Nuclear Power Plant Buildings, Nuclear Engineering and Design, 192, 205-216

Lee TH and Wesley DA (1973) Soil-Structure Interaction of Nuclear Reactor Structure Considering Trough Soil Coupling between Adjacent Structures, Nuclear Engineering and Design, 24, 374-387

Liu J, Du Y, Du X, Wang Z and Wu J (2006) 3D viscous-spring artificial boundary in time domain, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 5: 93-102

Lysmer J and Kuhlemeyer RL (1969) Finite Dynamic Model for Infinite Media, Journal of the Engineering Mechanics Division, 859-877

Mason HB and Trombetta NW, Chen Zm, Bray JD, Hutchinson TC and Kutter BL (2013) Seismic soil-foundation-structure interaction observed in geotechnical centrifuge experiments, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 48, 162-174

Pais AL (1988) *Dynamic Coupling Of Multiple Structures Through Soil*, PhD. Thesis, MIT, Dept. of Civ. Eng



SEE 7

Ray D and Jhaveri DP (1978) Effective seismic input through rigid foundation filtering, Nuclear Engineering and Design, 45, 185-195

Scanlan RH (1976) Seismic wave effects on soil-structure interaction, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 4(4): 379-388

Wolf JP (1985) *Dynamic soil structure interaction*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall

Yamahara H (1970) Ground motions during earthquakes and the input loss of earthquake power to an excitation of building, Soil and Foundation, 10 (2)

Yano T, Kitada Y, Iguchi M, Hirotsu T and Youshida K (2000) Model Test on Dynamic Cross Interaction of Adjacent Buildings in Nuclear Power Plants, 12th World Conf. on Earthquake Engineering (12WCEE), Auckland, New Zealand

